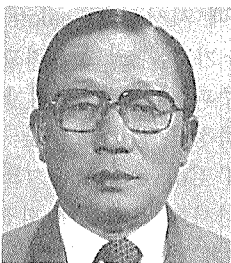


Stepping Motor의 特性和設計



金 洪 燦

廣林電子工業(株)社長/本會 非常勤 副會長

모든 산업이
기계금형을 출발로
이루어지듯 SM의 주요 부품인
Yoke라든가 Frant Flange, Rear Plate,
Bobbin 등의 국산화가 미흡해 거의 해외에
의존하고 있는 실정이고 더구나 PM
Type의 핵심이라 불리는 Rotor는
아직도 시급하게 개발해야 할
가장 중요하면서도 어려운
과제 중의 하나다.

1. 序 論

현대의 초Speed化 시대를 추구해가고 있는
요즈음 情報機器의 발달은 필수불가결한 요소
로 등장하고 있다. 아울러 事務機器의 자동화
라든가 통신기기도 정보산업에 병행해 발전해
나아가지 않으면 안되는 시점에 처해 있다. 게다가
이 모든 기기들은 성능과 용량이 나날이 강
화되는가 하면 Cost Down化, 경량화, 소형화
되어가고 있는 것 또한 직시해야 할 현실인 것
이다. 또한 소형화, 경량화를 가능케 하고 성
능의 다변화를 가능케 한 데에는 SM(Steppi-
ng Motor)의 역할도 빼놓을 수 없다. 여기에
SM 특성과 설계 및 활용을 알아 보도록 한다.

2. SM의 特性

SM은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

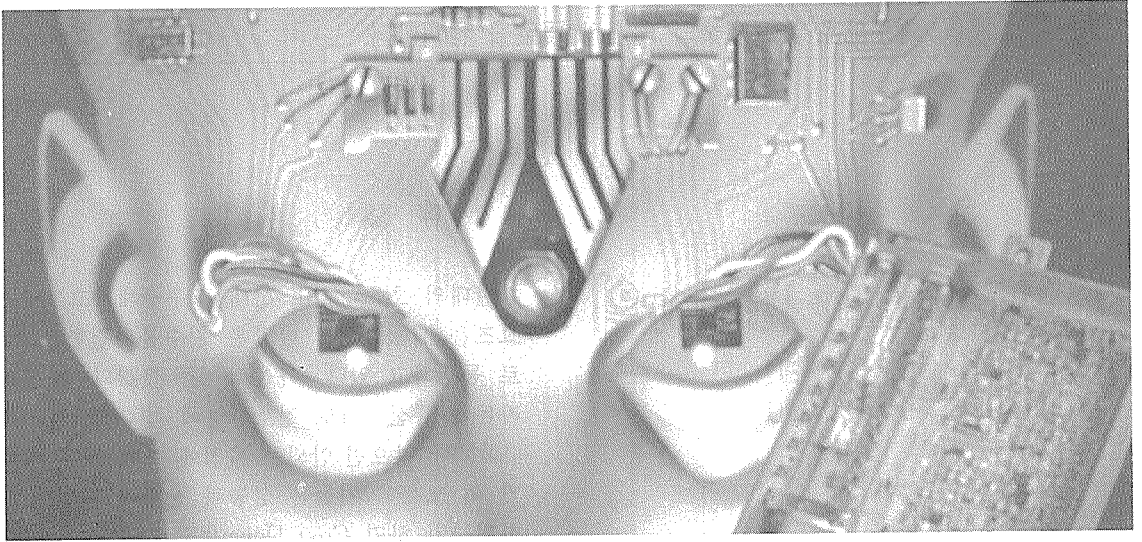
가. Open Loop 제어가 가능

P.C Servo Motor 등 그 외 기타의 제어용
Motor는 回轉檢出器 등 位置檢出器의 Feed
Back을 이용해서 요컨대 誤差를 補正하면서
회전수 등 위치제어를 행하고 소위 Closed
Loop으로 행해진다. 이와는 반대로 SM은 그
와 같은 검출기가 아니고 이른바 Open Loop
로서 제어가 가능하다. SM은 정밀한 위치결정
제어를 행할 수 있는게 최대 특징이라 하겠다.

나. 信賴性이 좋다.

SM의 수명을 결정하는 것은 근본적으로는
Bearing 수명 뿐 이다. 또 검출기 등 Feed Ba-
ck 회로가 없을 뿐더러 제어 System으로서도
Simple하고 높은 신뢰성을 얻을 수 있다.

다. 이 밖에도 다음의 특성이 있다.



SM은 모든 공정이 기계를 사용하기 때문에 시설투자비가 고가이다.

- Torque·速度 特性
- 應答特性
- 共振特性
- 溫度特性
- 角度精度特性

라. 靜 Torque 特性 (Static Torque 특성)

- 角度對靜 Torque 特性 (勵磁時 停止位置 保持 特性)
- Detent Torque 特性 (無勵磁時 停止位置 保持 特性)

(1) Holding Torque 특성 (HT)

HT는 SM를 勵磁狀態에 놓고 出力軸을 외부로부터 돌리고자 할 때 그의 힘에 대항해 發生하는 Torque로서 최대접지 Torque 또는 유지 Torque라고 부른다.

(2) Detent Torque (DT)

Magnet Rotor를 사용한 PM (영구자석형) 형 SM와 HB (Hybrid) 형 SM는 여자전류를 흘리지 않아도 Magnet의 磁束 때문에 安定平衡點에 Rotor가 멈추는 것을 말하며 이때 Torque 는 HT의 1/10 정도이다. 또한 無勵磁 상태에서 외부로부터 출력축에 Torque를 가했을 때 발생하는 Torque의 최대치를 Detent Torque라 부른다.

마. 動 Torque 特性

(1) Pull-Out Torque (POT)

Slewing 特性이라고도 하며 PIT를 만족하는 Pulse數 (보통 200pps)에서 계속적으로 고속으로 Motor를 운전할 때 서서히 Breaker의 부하를 증가시켜 Motor가 멈추지 않으려고 하는 최대 Torque를 그 주파수 (pps)에서의 POT라고 하고 各周波數에서 측정한 Torque치를 순차적으로 그린 것을 POT Curve라 한다. 또한 무부하에서 주파수를 서서히 올렸을 때 회전할 수 있는 한계 주파수를 최고 연속응답 주파수 (f_{max})라 한다.

(2) Pull-In Torque (PIT)

축에 부하 Torque를 가해 임의의 驅動 Pulse를 인가·정지 즉, Motor를 起動, 停止시켰을 때 그 Motor를 誤動作하지 않고 회전시킬 수 있는 한계의 부하 Torque를 말한다. 다시 말해 Motor가 기동, 정지를 반복할 때에 이용할 수 있는 各周波數에서의 최대 Torque를 말한다. 회전체에는 慣性 Moment [$g \cdot cm \cdot s^2$]라는 것이 있어 이것을 정지상태로부터 회전상태로 할 때에 加速 Torque를 필요로 한다. 아래 그림 1의 Tar은 Motor의 Rotor 가속 Torque Curve로서 주파수의 2승에 비례한다.

$$Tar = \frac{J_R \cdot 2\pi f}{t_a \cdot n\theta} \approx \frac{J_R \cdot 2\pi f^2}{\beta \cdot n\theta}$$

- f : 자기동 주파수 [pulse/s]
- J_R : Rotor 관성 Moment [$g \cdot cm \cdot s^2$]
- t_a : Rotor 가속시간 [s]
- $n\theta$: Motor의 1회전 Step數 [steps/reu]
- β : 驅動 條件에서 결정한 定數
(4相 Z-2 여자時 $\cong 2.3$)

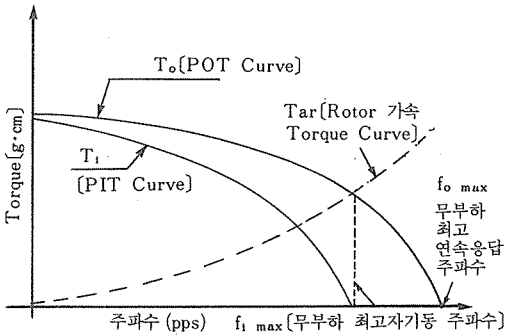


그림 1 Stepping Motor Torque 特性

3. Stepping Motor의 종류

SM은 영국에서 처음 만들어진 이래로 60년의 역사를 갖고 있다. 그 종류를 살펴보면 VR (Variable Reluctance) Type, PM (Permanent Magnet) Type, HB (Hybrid) Type으로 대표된다.

가. 동작원리에 의한 분류

(1) VR Type

회轉子를 軟鐵로 齒車狀으로 가공한 Type

(2) PM Type

회轉자가 영구자석으로 이루어진 Type

(3) HB Type

회轉자는 축방향으로 자화된 영구자석이 조합되어 있고 VR과 PM의 복합형

나. 相數에 의한 분류

(1) 單相型

Coil이 하나인 型, 1方向 회전

(2) 2相型

Coil이 2개인 型, 雙方向 회전 Bipolar用

(3) 3相型

Coil이 3개인 型, 雙方向 회전 Unipolar, Bipolar用

(4) 4相型

Coil이 4개인 型, 雙方向 회전 Unipolar, Bipolar用 (가장 많이 사용)

(5) 5相型

Coil이 5개인 型, 雙方向 회전 Unipolar, Bipolar用

4. Stepping Motor와 Driver

Driver는 SM의 성능과 특성에 많은 영향을 주므로 SM은 Driver의 구성에 좌우된다.

가. 回路構成

(1) 제어회로

이것은 SM를 제어하는 신호, 正回轉 (CW), 逆回轉 (CCW), 停止信號 등을 출력한다.

(2) 分配回路

제어신호를 받아 SM의 各相 Coil에 어느 勵磁方式으로 전류를 흘릴 것인가를 결정하는 회로이다.

(3) 勵磁回路

이것은 Motor의 Coil에 흐르는 전류를 끊고 바꿔주는 회로로서 Transistor 등 FET (電界效果用 transistor)로서 구성된다.

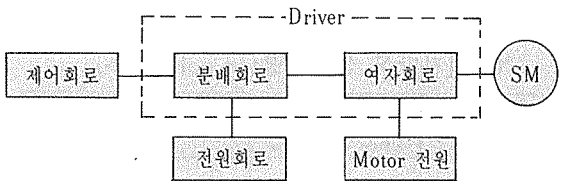
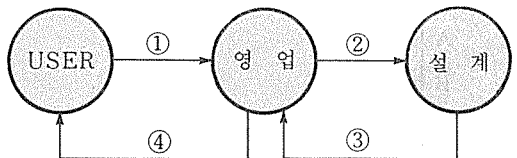


그림 2 SM의 회로구성

5. Stepping Motor (PM Type)의 設計

SM의 설계는 다음과 같이 이루어진다.



가. User는 자신이 필요로 하는 Motor의 전원전압과 사용하고자 하는 주파수(pps)에서의 Torque, 여자방식(1相, 1-2相, 2相), 구동방식(Unipolar, Bipolar), 출력 측의 취부판(Front Flange) 사양, Connector 사양 등을 제시해 준다.

나. 영업은 이 모든 자료를 정리해 설계자에게 인계한다. 설계자는 미비된 자료라든가 정보를 User로부터 알아야 할 의무가 있으며 User의 사양에 맞게 재료 수배라든가 Motor의 여러가지 特性실험(Torque, 온도상승, 각도오차, Damping 실험)을 거쳐 빠른 시일 내에 설계, 제작한다.

다. 실험이 끝난 Sample Motor와 그 사양서를 영업에 인계.

라. 영업은 Sample Motor와 사양서를 User에게 제출한다. 이 외에 User는 실제로 Motor에 부하를 가해 Simulation을 해서 사양서와 일치하는가, Torque는 만족하는가, Motor의 열은 규격치를 벗어나지 않는가 등을 검토 후 만족을 못 시키면 가, 나, 다, 라를 통해 수정을 해 나간다. 수정이 끝나 모든 면에서 User가 찾던 Motor가 되면 양산단계에 돌입한다.

6. 設計時 주의사항

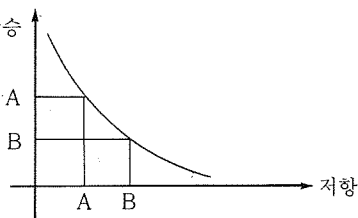
가. 여자방식 선택요령(48 pole 경우)

구 분	Torque [POT, PIT]	전류	온도	Step Angle
1相	57%	小	低	7.5°
1-2相	85%	中	中	3.75°
2相	100%	大	高	7.5°

나. 올바른 Motor 선정

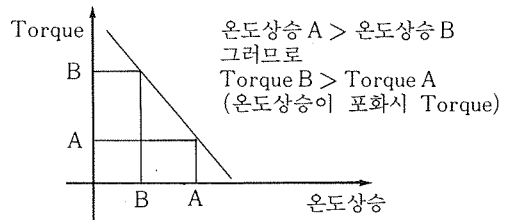
조건: 초기 두 Motor Torque가 같다.

(1) 저항과 저항에 따른 온도상승이 다음과 온도상승



같다. 저항A < 저항B = 온도상승A > 온도상승B

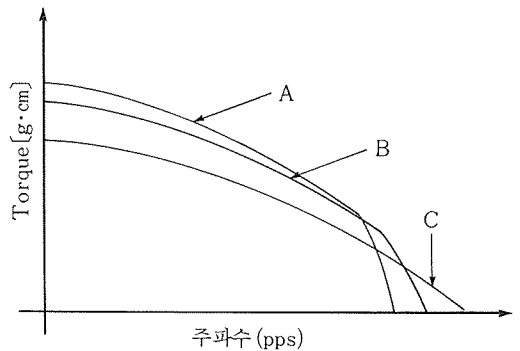
(2) 온도상승과 Torque와의 관계



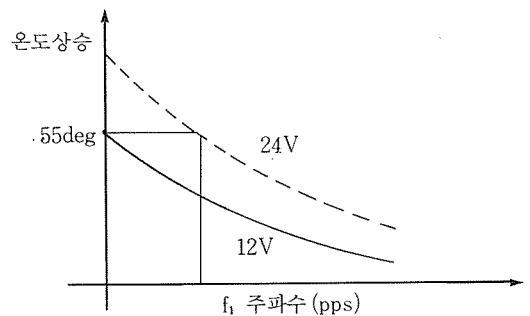
(3) Torque는 Motor의 온도가 1°C 상승함에 따라 0.3% 감소한다.

다. 같은 저항이지만 Coil의 지름(ϕ)과 Turn數가 다른 경우의 Torque 곡선.

- A Coil : $0.14\phi \times 530T$
- B Coil : $0.13\phi \times 500T$
- C Coil : $0.1\phi \times 310T$



라. 70 Ω Motor가 12V가 정격전압인데 24V에 사용할 경우의 분석



(1) 12V때는 Opps에서 55deg로 Coil 온도상승이 안정할 수 있지만 24V는 f_1 pps 이상의

주파수에서만 온도가 안정하다.

(2) 온도상승에 관련되는 요인
주의 온도, 주파수, 방열판, 전압.

마. Motor의 相勵磁方式이 다를 때 같은 Speed 조건을 만들려면 다음의 생각이 필요하다.

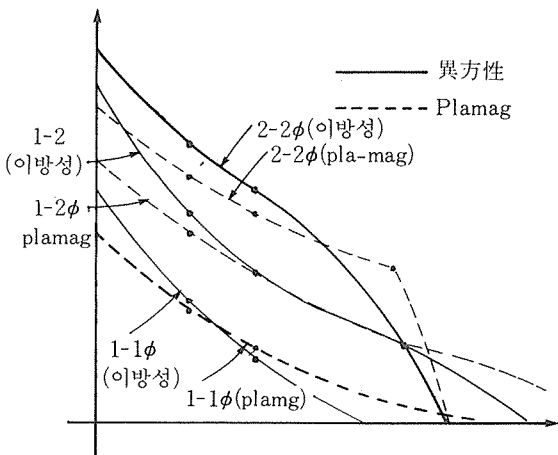
여자방식	PPS 배율
1相	1
1-2相	2
2相	1

바. 온도상승 特性 실험상의 주의점

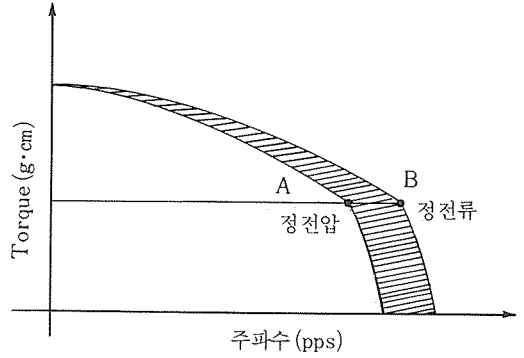
(1) 1-2相 여자방식 Motor는 두상이 여자 되었을때 Check 한다. (Opps時)

(2) 같은 Motor를 1-2相과 2-2相 여자 때 온도상승을 비교하려면 Opps때는 관계없지만 Pulse가 가해지면 1-2相 여자방식은 2-2相 여자방식 주파수의 2배를 인가하고 Check해야 한다.

사. 같은 Coil Spec에 이방성(異方性)Rotor Plastic Magnet Rotor (pla-mag)를 사용했을 경우와 1相, 1-2相, 2相을 勵磁했을 때 Torque 비교



아. Unipolar 구동 정전압, 정전류 구동 차이
정전압 10V, 20Ω과 정전류 24V, 20Ω, 0.5A의 차이는 아래 그림에서 보다시피 빗줄 친 만큼



의 이득을 정전류 구동이 볼 수 있다. 하지만 온도상승면에서 정전압 구동보다 높으므로 선택에 신중을 기해야 한다.

자. Unipolar 구동과 Bipolar 구동 차이

항 목	Unipolar	Bipolar	
Transistor 數	1	2	
Motor 온도상승을 같은 경우	電 流	1	$1/\sqrt{2}$
	Torque	1	$\sqrt{2}$
	高速性能	1	0.5
	電 壓	1	$\sqrt{2}$
Torque를 같은 경우	電 流	1	0.5
	溫度上昇	1	0.5
	高速性能	1	0.5
	電 壓	1	1

차. SM의 제어전의 必要知識과 注意事項

SM을 제어하는 경우에는 다음의 주의할 점이 따른다.

(1) Torque Curve는 Motor 온도상승에 따라 변화한다. Driver 조건에도 영향을 받지만 P-OT의 온도 係數의 경우 PM Type은 $-0.3\%/^{\circ}\text{C}$, HB Type은 $-0.25\%/^{\circ}\text{C}$ 의 영향이 있다.

(2) 사용하는 Motor에 Driver를 접속시켰을 때의 특성을 알고 있어야 한다. 특히 POT Curve, Rotor 慣性, 무부하 최고 자기동 주파수를 알고 있어야 한다.

(3) 負荷 Torque, 負荷慣性을 계산하기 전에 실측치를 뽑아 낼 것.

7. SM의 주요 용도

- 가. 정보기기 : FDD, HDD, Printer, Recorder, FAX, Camera
- 나. 사무기기 : 복사기, 전동타자기, Word-Pro
- 다. 자동차 : 밸브제어, 計器, 연료 Pump 氣化器, Auto aircon
- 라. 의료기기 : 수액 Pump, 分析機
- 마. 시계종류 : Timer, Counter
- 바. 생활용품 : Aircon, 냉장고, 재봉틀
- 사. 자동발매기 (판매기)
- 아. 산업기계 : NC 工作機, 簡易 Robot
- 자. 기타 : 宇宙기기, 사진광학기기, 청량음료 혼합기

8. 結 論

國內 SM의 산업은 아직 초기에 지나지 않는다. '87년도에 시작된 SM은 그 수요와 전망은 매우 밝고 밝다고 하겠으나 다음과 같은 풀어야 할 과제가 우리에게 남아 있다.

가. 원자재의 국내공급이 어렵다.

모든 산업이 기계금형을 출발로 이루어지듯 SM의 주요 부품인 Yoke라든가 Frant Flange, Rear Plate, Bobbin 등의 국산화가 미흡해 거의 해외에 의존하고 있는 실정이고 더구나 PM Type의 핵심이라 불리는 Rotor는 아직도 시급하게 개발해야 할 가장 중요하면서도 어려운 과제 중의 하나다.

나. 참고자료 및 서적의 획득과 SM의 고급 인재의 부족이 아쉽다.

국내에서는 학문적으로 미개척 분야이기 때문

에 기술적으로 자문을 구할 기관이라든가 서적이 절대적으로 미흡한 실정으로 정부차원의 인계양성이 요망된다.

다. 생산공정의 자동화 부분이 적다.

모든 공정이 기계를 이용하는 수작업으로, 인력난에 시달리고 高賃金化 되어가고 있는 우리나라의 실정으로는 자동화가 이뤄져야만 하는데 10여년씩 제조해온 일본의 경우도 아직 수작업에 의존함을 관찰해 볼 때 자동화란 어렵다고 판단된다.

라. 주문생산

SM은 표준품이라는 개념에서 멀다. 따라서 모든 제품은 Coil Spec부터 Flange 사양에 이르기까지 주문에 의해 설계, 제작해야 하는 번거로움이 따른다.

마. 모든 공정이 기계를 이용하기 때문에 시설 투자비가 高價이다.

이와 같은 여러가지 난점이 있다. 하지만 분명한 사실은 정보화 사회로 옮겨감에 따라 SM의 수요는 급증해야만 한다는 것이다. 그에 앞서 하루 빨리 고급두뇌 확보가 이뤄져야 하고 아울러 자재의 국산화도 병행해 이뤄져야 한다. 또한 대학의 강단에서도 당연 SM에 대한 관심도를 높여야 할 줄 안다. 끝으로 우리의 일상생활에도 하루라도 자신이 모르는 사이에 30여개의 Motor를 사용한다고 한다. Motor를 많이 사용하는 생활이 선진문화 생활이고, 선진국민의 특권이며, 선진국임을 강조하면서 글을 맺는다.

